

DEKOMPOSISI LIMBAH PLASTIK *POLYPROPYLENE* DENGAN METODE PIROLISIS

**Siti Naimah, Chicha Nuraeni, Irma Rumondang,
Bumiarto Nugroho Jati dan Rahyani Ermawati**

*Balai Besar Kimia dan Kemasan (BBKK) - Kemenperin
Jl. Balai Kimia No.1, Pekayon, Pasar Rebo, Jakarta Timur
e-mail : ermakyoto@yahoo.com*

ABSTRAK

DEKOMPOSISI LIMBAH PLASTIK *POLYPROPYLENE* DENGAN METODE PIROLISIS.

Berbagai usaha telah dilakukan untuk mengurangi limbah plastik. Salah satu usaha tersebut adalah mengkonversi limbah plastik menjadi sumber energi. Proses konversi limbah plastik melibatkan beberapa tahapan proses, salah satunya adalah pirolisis (*thermal cracking*). Pirolisis merupakan proses dekomposisi dengan menggunakan sampah plastik sekaligus penyulingan bahan tanpa O₂ dengan suhu tinggi (500 °C hingga 1000 °C). Hasil proses pirolisis berupa padatan dan cairan. Dengan suhu reaktor pada suhu 500 °C, alat pirolisis yang telah dibuat dapat menghasilkan *crude oil* dengan *yield* sebesar 40%. *Crude oil* yang dihasilkan dianalisis menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* dengan kandungan senyawa *Benzene*, *Toluene*, *Octane*, *Naphthalene*, *Xylene*, *Cyclohexane* dan *Cyclopentane*.

Kata kunci: Limbah plastik, Pirolisis, Dekomposisi, Energi

ABSTRACT

DECOMPOSITION *POLYPROPYLENE* PLASTIC WASTE WITH PYROLYSIS METHODE.

Various attempts have been made to reduce plastic waste. One of the attempts is to convert plastic waste into energy sources. The process of converting waste plastics involves several stages of the process, one of which is the pyrolysis (*thermal cracking*). Pyrolysis is the decomposition process of plastic waste and distillation process without O₂ at high temperatures (500-1000 °C). Results of pyrolysis process is solids and liquids forms. With the reactor temperature at 500 °C, pyrolysis equipment that has been made to produce crude oil with 40% yield. Crude oil from this research was tested by using *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* which contains *Benzene*, *Toluene*, *Octane*, *Naphthalene*, *Xylene*, *Cyclohexane* and *Cyclopentane* Compounds.

Keywords: Plastic waste, Pyrolysis, Decomposition, Energy

PENDAHULUAN

Seiring bertambahnya jumlah penduduk dunia, konsumsi akan barang-barang berbahan plastik semakin meningkat. Menurut data statistik, kebutuhan plastik di Eropa Barat 100 kg per orang per tahun [1], sedangkan di Jepang, jumlah limbah plastik mencapai lebih dari 10 juta ton per tahun [2]. Plastik yang beredar, secara komersial dikelompokkan berdasarkan bahan penyusunnya. Jenis-jenis plastik tersebut adalah *Polyethylene (PE)*, *PolyVinyl Chloride (PVC)*, *Poly Propylene (PP)*, *PolyMethyl Methacrylate (PMMA)*, *Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)*, *Polyamide (PA)*, *Polyester* dan *PolyEthylene Terephthalate (PET)*.

Distribusi plastik yang terdapat di masyarakat banyak berasal dari bahan *Polyethylene*. *Polyethylene* sendiri dibagi menjadi tiga, yaitu *High Density Poly Ethylene (HDPE)*, *Low Density PolyEthylene (LDPE)*

dan *Linear Low Density PolyEthylene (LLDPE)*. Dalam pemakaiannya *HDPE* banyak digunakan sebagai botol minuman, sedangkan *LDPE* digunakan sebagai kantong plastik. *LLDPE* memiliki kekuatan tensil yang lebih tinggi dari *LDPE* dan memiliki ketahanan yang lebih tinggi terhadap tekanan. Di pasaran terdapat juga plastik jenis *Crosslinking Polyethylene (XPE)*.

Plastik dari bahan petrokimia mempunyai kecepatan biodegradasi yang sangat lambat, dan membutuhkan waktu yang lama untuk terdegradasi sempurna. Limbah plastik yang ada pada saat ini pada umumnya hanya dibuang (*disposal*), *landfill*, dibakar atau didaur ulang (*recycle*). Limbah plastik jika diolah dengan cara yang tepat, karena plastik dapat menghasilkan hidrokarbon yang merupakan bahan dasar energi dan bahan kimia. *Polyethylene* sebagai bahan

dasar pembutan kantong plastik merupakan polimer termoplastik sehingga dapat terdegradasi dengan perlakuan termal. Metode perlakuan termal yang biasa digunakan salah satunya adalah pirolisis. Pirolisis merupakan proses peruraian bahan organik secara termal tanpa adanya oksigen dengan produk berupa cairan, gas dan padatan. Pirolisis tidak melepaskan polutan berupa partikel dan CO₂ ke atmosfer sehingga praktis tidak mengganggu lingkungan.

Proses pengolahan limbah plastik menjadi produk yang bernilai ekonomi melalui beberapa tahapan proses utama. Tahapan proses penting dalam konversi limbah plastik adalah proses pirolisis [3]. Pirolisis merupakan teknik pembakaran sampah sekaligus penyulingan bahan tanpa O₂ dengan suhu tinggi (800 °C hingga 1000 °C), dan gas yang dihasilkan berguna dan aman bagi lingkungan, karena produk akhir yang dihasilkan berupa CO₂ dan H₂O. Selain gas, senyawa hidrokarbon cair mulai dari C1 hingga C4, dan senyawa rantai panjang seperti parafin dan olefin [4]. Hasil produk akhir dan properti tergantung pada komposisi sampah plastik [5]. Kehadiran PE meningkatkan kandungan alkena.

Adapun keuntungan dari metode pirolisis untuk pembakaran limbah plastik yaitu konsumsi energi yang rendah, dapat mengatasi limbah plastik yang tidak dapat didaur ulang, beroperasi tanpa membutuhkan udara atau campuran hidrogen dan tidak memerlukan tekanan tinggi. HCl yang terbentuk sebagai sebuah produk dapat diperoleh kembali sebagai bahan baku, reduksi energi yang digunakan sampai 20 kali, polutan-polutan dan pengotor menjadi terkonsentrasi sebagai residu padatan.

Proses pirolisis berlangsung pada suatu reaktor terfluidisasi (*Fluidized Bed Reactor*). *Fluidized Bed Reactor* adalah jenis reaktor kimia yang digunakan untuk mereaksikan bahan kimia dalam keadaan banyak fasa. Reaktor ini menggunakan fluida (cairan atau gas) yang dialirkan masuk ke dalam reaktor sehingga menyebabkan kontak langsung dengan bahan baku.

Proses pirolisis pada *Fluidized Bed Reactor* merupakan proses *thermal decomposition* yaitu merupakan proses perengkahan (*cracking*) ikatan kimia pada suatu senyawa dengan melibatkan panas. Pada umumnya reaksi ini bersifat endotermis. Saat proses pirolisis pada limbah plastik berlangsung, terjadi pemutusan ikatan kimia pada polimer plastik menjadi monomer hidrokarbon yang akan dimanfaatkan sebagai sumber energi. Proses pirolisis merupakan proses konversi limbah plastik menjadi sumber energi, ada beberapa faktor yang menjadi kunci keberhasilan proses tersebut diantaranya suhu dan kecepatan alir, katalis juga memegang peranan yang penting.

Katalis digunakan untuk menurunkan energi yang terjadi pada proses pembakaran, katalis juga berperan untuk menurunkan konsentrasi Cl yang ada pada cairan yang terbentuk sebagai hasil produk pembakaran. Penambahan katalis tidak bisa hanya meningkatkan kualitas produk yang diperoleh, tetapi juga bisa

memungkinkan selektivitas suatu produk tertentu yang akan dicapai [5]. Katalis yang digunakan pada umumnya adalah *zeolite*, *polysilicate component*, *pseudoboehmite component* dan *clay component* [6].

Pengolahan sampah plastik menjadi bahan bakar cair dapat memberikan suatu solusi permasalahan limbah plastik yang selama ini menjadi masalah yang serius terhadap lingkungan. Untuk itu dalam penelitian ini dikembangkan alat pengolah limbah plastik sederhana berbasis teknologi pirolisis skala laboratorium. Selanjutnya dilakukan pengujian alat pada bahan baku limbah plastik yang mudah dijumpai dan dilanjutkan dengan analisis hasil proses tersebut.

METODE PERCOBAAN

Bahan

Bahan plastik *Polyethylene (PE)*, dengan titik leleh 155 °C

Alat

Crusher, reaktor pirolisis, *Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS)*, *X-Ray Fluorescence (XRF)* dan alat distilasi.

Cara Kerja

Pertama-tama dirangkai alat pirolisis skala lab dengan bahan yang sudah ada untuk mencari kondisi optimum proses pirolisis meliputi suhu dan tekanan. Gambar diagram alir proses penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

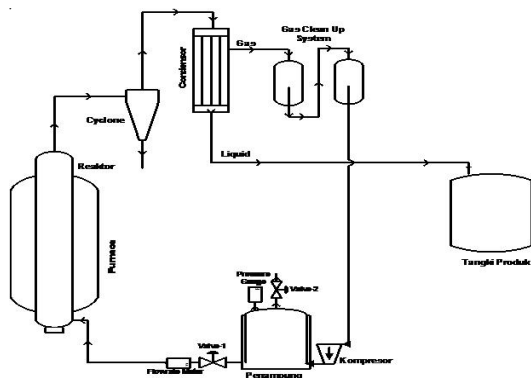
Sampel sampah plastik jenis *Poly Propylene (PP)* dari kantong plastik yang berwarna putih dikumpulkan dan dihancurkan hingga menjadi potongan kecil-kecil. Reaktor dialiri dengan gas nitrogen (100 mL/menit) terlebih dahulu, kemudian potongan plastik dimasukkan ke reaktor terbuat dari stainless steel. Pirolisis dilakukan pada suhu mulai dari 400 °C hingga 800 °C. Dua puluh gram plastik PE dimasukkan dalam reaktor.

Pembuatan Disain Alat

Hasil percobaan skala laboratorium selanjutnya dituangkan dalam bentuk disain gambar, dimana disain gambar tersebut sebagai pedoman dalam pembuatan alat. Disain alat dituangkan dalam bentuk gambar teknis yang dirangkaikan dengan alat penunjang yang lain dengan skala yang telah ditentukan.

Pembuatan Alat Pirolisis

Pembuatan alat pirolisis dilakukan di Bengkel Balai Besar Kimia dan Kemasan berdasarkan disain gambar yang telah dibuat. Pembuatan alat dimonitor oleh tim peneliti dan perekayasa BBKK, program Ristek tahun 2011.



Gambar 1. Disain rangkaian alat pirolisis



Gambar 2. Rekayasa alat pirolisis (Lab Scale)

Alat pirolisis yang dibuat terdiri dari reaktor utama, tabung penampung produk, tabung penampung tar, tabung pendingin vertikal dan horizontal, tangki air, kompresor dan instrumentasi.

Setelah alat diinstal, kemudian dilakukan uji coba. Ujicoba dilakukan berdasarkan kondisi optimum yang telah didapatkan pada skala laboratorium.

Analisis Produk

Produk yang didapatkan kemudian dianalisa. Produk cair dianalisa dengan *GC-MS*, sedangkan untuk mengetahui adanya NO_x dan SO_x yang terbentuk dalam reaktor diukur dengan gas sampler.

Peralatan *GC-MS* yang digunakan adalah Agilent GC 6890/Agilent MSD 5973, menggunakan kolom *phenyl polyarylene (DB-5MS)*. Suhu injektor 250 °C. Program suhu yang digunakan yaitu 40 °C (1,0 menit), 10 °C/menit, 280 °C (10,0 menit). Dimensi kolom yang digunakan pada *GC-MS* yaitu 25 m (panjang) x 0,25 mm (diameter dalam) x 0,25 μm (ketebalan film).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian Skala Laboratorium

Sebelum pembuatan alat, dilakukan penelitian skala laboratorium untuk mencari kondisi optimum proses pirolisis. Hasil pirolisis limbah plastik pada suhu 500 °C

dengan bahan baku 40 gram plastik *PolyEthylene (PE)* menghasilkan produk cair sebesar 15 mL ($\text{yield} \approx 40\%$). Pengukuran dengan gas sampler selama proses pirolisis berlangsung terdeteksi tidak mengandung gas NO , NO_2 dan SO_2 .

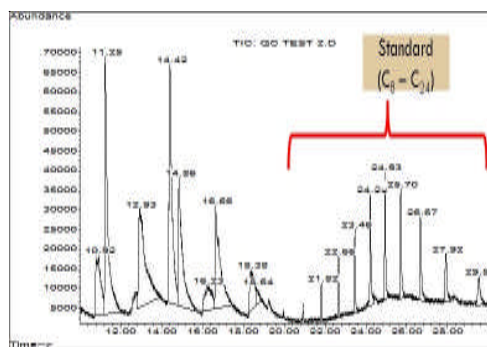
Produk cair yang terbentuk dianalisis menggunakan *Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS)*, sebelumnya dilakukan analisis standar C8-C24 (Gambar 3). Hasil analisis produk cair dapat dilihat pada Gambar 4. Fasa cair yang terbentuk mempunyai densitas sebesar 0,73 g/m^3 .

Gambar 5 memperlihatkan bahwa kedua gambar memperlihatkan pola peak yang hampir sama, hal ini menunjukkan bahwa sampel hasil pembakaran plastik mengandung hidrokarbon C5-C24. Selanjutnya masing-masing puncak memperlihatkan tipikal hidrokarbon yang ditandai dengan ekstrak ion 73 dan ion 147.

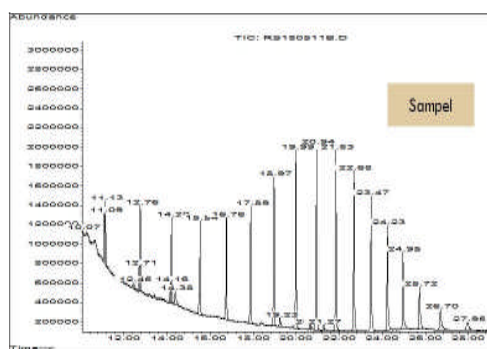
Hasil Uji Coba Alat dan Analisis Produk

Setelah alat pirolisis di set-up, kemudian dilakukan uji coba alat. Limbah plastik dimasukkan kedalam reaktor utama dan ditutup rapat. Sebelum dilakukan percobaan, reaktor utama dilakukan penghilangan O_2 terlebih dahulu menggunakan gas N_2 selama 30 menit dengan kecepatan alir gas 10 L/menit.

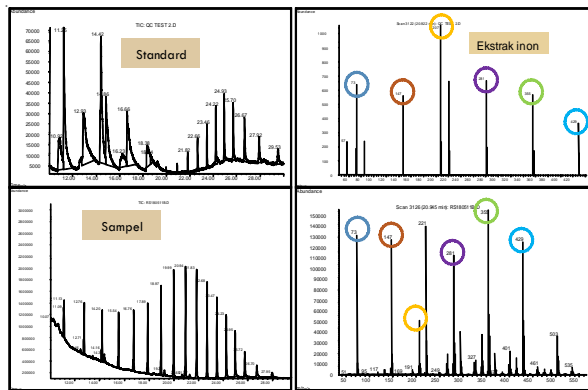
Kemudian alat dihidupkan dan di-setting pada suhu 500 °C. Proses pirolisis berlangsung secara batch dengan waktu tinggal selama 30 menit. Selama proses berlangsung gas yang dihasilkan selama proses pirolisis



Gambar 3. Standar C₈-C₂₄



Gambar 4. Sampel fasa cair hasil proses pirolisis



Gambar 5. Selected ion sampel dengan waktu retensi 20,9 menit.

Tabel 1. Hasil distilasi minyak plastik

Sifat/ Besaran	Reguler Petrol	Minyak Plastik (Crude Oil)	Minyak Plastik
Warna	Orange	Hitam pekat	Kuning jernih
Nilai kalori (kal/g)	11210	11770	9458
Titik nyala (°C)	23	25	24
Viscosity (cps)		75	
BJ-T 25 °C	0,74	0,721	0,78

directcycle, sehingga tidak ada gas yang keluar selama proses berlangsung. Setelah reaktor dingin tabung penampung produk dibuka untuk mendapatkan produk cair dan dari tangki penampung tar didapatkan tar yang merupakan sisa produk yang terjadi selama proses pembakaran tidak sempurna. Hasil yang diperoleh selama proses, dari 0,6 kg bahan baku limbah plastik didapatkan konversi 33,3 % menjadi produk fasa cair (crude oil).

Crude oil yang didapatkan berwarna hitam, selanjutnya dilakukan distilasi. Distilasi dilakukan pada suhu 200 °C dengan menggunakan silikon cair. Hasil analisis minyak plastik dapat dilihat pada Tabel 1. Dari Tabel 1 tersebut bahwa setelah dilakukan analisis tampak bahwa minyak plastik yang masih crude memiliki kualitas yang hampir sama dengan minyak yang ada di pasaran.

Penelitian yang dilakukan pada skala laboratorium dan skala scale up terdapat perbedaan yield produk cair. yield yang dihasilkan 40 % berat sedangkan dari alat yang dibuat sebesar 33,3 % berat. Perbedaan presentase yield ini disebabkan karena proses pendinginan pada condenser pada alat yang dibuat (rekayasa alat) belum terjadi secara optimal. Penelitian sebelumnya mendapatkan total konversi pirolisis plastik PE adalah

sekitar 90% dan sebagian besar produk berupa cairan, dan gas yang dihasilkan kurang dari 10% [7,8].

Perbedaan yield produk cair yang dihasilkan pada penelitian ini lebih kecil, hal ini disebabkan banyak gas yang tidak terkondensasi secara sempurna atau di dalam reaktor masih terdapat kandungan oksigen yang cukup tinggi sehingga reaksi pirolisis tidak berjalan secara sempurna.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan maka diperoleh beberapa kesimpulan, sebagai berikut :

1. Suhu yang digunakan pada pirolisis plastik PolyEthylene (PE) pada 500 °C.
2. Yield proses pirolisis skala laboratorium sebesar 40 % berat sedangkan dari alat yang dibuat sebesar 33,3 % berat.
3. Produk utama komponen fasa cair adalah benzene (C₆H₆) beserta turunannya dengan density 0,72 g/cm³ dengan nilai kalori 11,770 kal/g, titik nyala 25 °C dan viscosity 75 Cps.

DAFTAR ACUAN

- [1]. ANONIM, Summary Report : An Analysis of Plastic Consumption and Recovery in Europe 2002 & 2003, Association of Plastic Manufacturers in Europe (APME), Brussel, Belgium, (2004)
- [2]. NISHINO J., ITOH M., ISHINOMORI T., KUBOTA N., and UEMICHI Y., *J. Mater. Cycle. Waste. Manag.*, **5** (2003) 89-93
- [3]. MILLER S. J., SHAH N. and HUFFMAN G.P., *American Chemical Society*, **19** (4) (2005) 1580-1586
- [4]. LEE K.H., SHIN D.H., and SEO Y.H., *Polym. Degrad. Stab.*, **84** (2003) 123-127
- [5]. PINTO F., COSTA P. GULYURTLU I. CABRITA, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **51** (1999) 39-55
- [6]. KEANE M.A., *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, **82** (2007) 787-795
- [7]. PINTO F., COSTA P. GULYURTLU I., CABRITA, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **51** (1999) 57-71
- [8]. WANG Z, K. LI, M. FINGAS L., SIGOUIN L., MENARD, *Journal of Chromatography A*, **971** (2002) 173-184